

# ПНЕВМОВИХРОВ МЕТОД ЗА МОНТАЖ НА ДОЗАТОРИ

## PNEUMOVORTEX METHOD FOR INSTALLATION OF BOTTLE PROPERTIES

Доц. д-р Клочков Л.<sup>1</sup>, Доц. д-р Ляпидевкий А.<sup>2</sup>, Доц. д-р Жмудъ В.<sup>2</sup>, Проф. д-р Димитров Л.<sup>1</sup>, Проф. д-р Нешков Т.<sup>1</sup>  
 Технически Университет - София, България<sup>1</sup>  
 Новосибирски Държавен Технически Университет, Русия<sup>2</sup>

Lubomir\_dimitrov@tu-sofia.bg

**Abstract:** The use of pneumovortex flow behavior of automation in the assembly of mechanical elements is a perspective direction in terms of the possibility of precise assembly, relatively low cost and high environmental compatibility of the process. This article is an analysis of pneumovortex method: the behavior of a solid body in a vortex tube is studied. The conclusions concern the clearance between the body and the tube in terms of the accuracy of the installation. Also, a specific industrial application of the method is discussed, namely the automation of the installation of dispensers for special drinks. Attention is paid to the optimization of the number of elements involved in the assembly process. Pneumovortex head assembly is developed.

**Keywords:** PNEUMOVORTEX METHOD, PNEUMOVORTEX ASSEMBLY HEAD

### 1. Увод

Съвременната автоматизация на дискретните процеси и операции в различните отрасли на промишлеността се основава на използването на агрегатно-модулен принцип на компоноването на гъвкави и пренастроваеми автоматични машини и линии. Това се отнася с пълна сила и за фирмите, бутилиращи алкохолни напитки, които все повече се стремят да предлагат на пазара продукти и опаковки от най-високо качество. В тази индустрия все повече навлиза употребата на дозатори. Въпреки голямото им разнообразие, дозаторите, като завършено изделие, представляват интерес за прилагане на пневмовихровия метод и технология за автоматизиран монтаж.

Целта на настоящата статия е да се илюстрира пневмовихровия метод и технология за монтаж на серия дозатори.

### 2. Предназначение на дозаторите

Дозаторът е устройство, което се монтира в гърлото на бутилката и спомага за плавното изливане (на дози) на течност от бутилка. Има различни конструкции дозатори. В настоящата статия се разглежда дозаторът, показан на фиг.1. Той се състои от капачка (1), сачма (2) и чашка (3). Капачката и чашката се изработват от полимерен терефталат (PET) а сачмата от полиетилен с висока плътност (HDPE) или от стъкло.

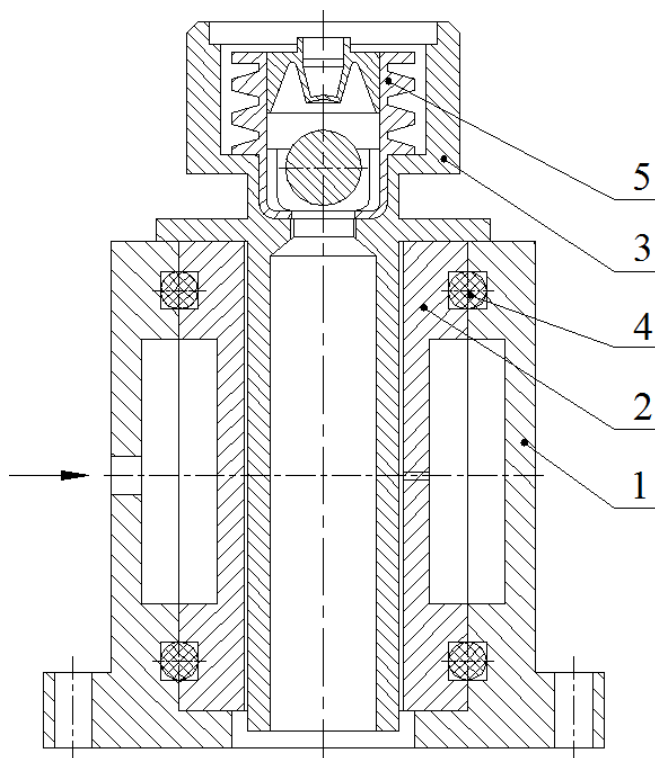


Фиг. 1 Съставни части на трикомпонентен дозатор.

### 3. Конструкция на пневмовихрова монтажна глава

На фиг.3. е показан общия вид на пневмовихрова монтажна глава. Тя се състои от следните основни елементи: тяло (1), технологична втулка (2), междинна втулка (3), „О“ пръстен (4) и дозатор (5). В горния край на междинната втулка (3) се изработва профила на чашата за дозатора. При смяната на типа

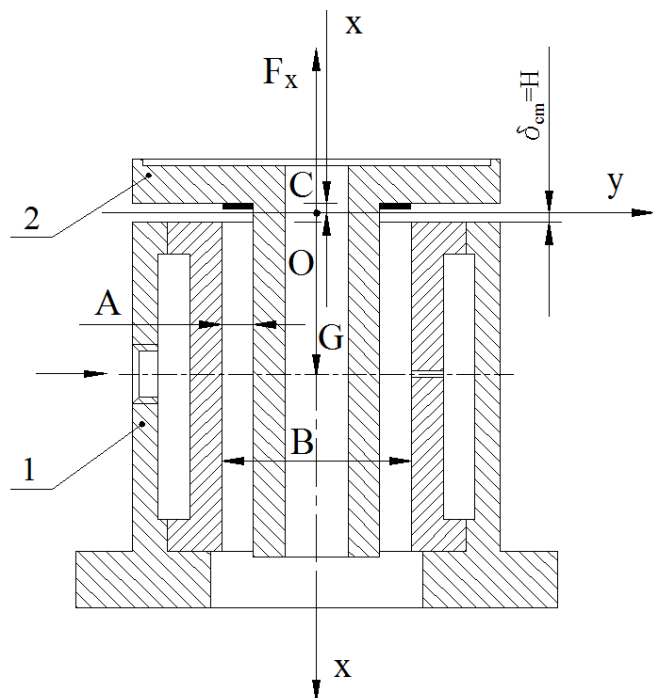
дозатор много лесно се извършва пренастройката на монтажната глава, като предварително се изработва междинна втулка с профила на другия дозатор [1,2,3,4].



Фиг. 2 Общ вид на пневмовихрова монтажна глава.

Принципът на действие на пневмовихровата монтажна глава е следният: Към тяло (1) през отвора се подава съгъстен въздух под налягане 1,8-2,5 бара в междинната камера между тялото (1) и технологичната втулка (2). На технологичната втулка (2) са свредловани три тангенциални отвора, разположени на 120° един от друг. През тези отвори постъпващият съгъстен въздух от камерата се подава към вихровата тръба и задейства междинната монтажна втулка (3). Така се предава въртеливо движение и вибрационни трептения. Хлабината между технологичната втулка (2) и междинната втулка (3) е в границите  $\Delta = 0,3-1,5$  mm.

#### 4. Изследване на поведението на вертикалните трептения на междинната втулка.



Фиг. 3 Вертикални трептения на междинната втулка

С навлизане на съгъстения въздух в пространството между вихровата монтажна глава (1) и междинната втулка (2), въздушният поток се разделя на две части: едната част изтича свободно вертикално надолу, а другата се насочва вертикално нагоре, като оказва натиск върху фланеца на главата на междинната втулка (фиг.2), опитвайки се да я повдигне и свободно да изтече. Хлабината между вихровата монтажна глава и междинната втулка е означена с  $A$ . Ако приемем горната част на това пространство като затворена камера, може да се допусне, че е налице система, състояща се от бутало и цилиндър с контактна площ. Нека означим с  $p_0$  и  $V_0$  съответно налягането и обема на камерата в положение на равновесие на междинната втулка, а с  $p$  и  $V$  съответно налягането и обема на камерата в едно текущо положение на движещата се междинна втулка [1,5]. Ако приемем, че процесът на изменение на въздуха в пространството между вихровата тръба и междинната втулка е адиабатен, то можем да запишем:

$$(1) p \cdot V^f = p_0 V_0^f$$

където  $f$  е коефициент на адиабата при въздух ( $f=1,4$ )

Като диференцираме равенство (1) относно много малкото преместване на втулката от равновесното положение  $x$  то получаваме:

$$(2) \frac{dp}{dx} V^f + p \cdot f \cdot V^{f-1} \frac{dV}{dx} = 0$$

Доколкото обемът се изменя в зависимост от  $x$  по закона:

$$(3) V = V_0 - A \cdot x, \text{ респективно } \frac{dV}{dx} = -A$$

и апроксимирайки затворената въздушна камера като една въздушна пружина, за нейния коефициент на еластичност, (дефиниран като отношение на сила за единица преместване) може да се запише, че:

$$(4) C = A \frac{dp}{dx} = \frac{f \cdot p_0 \cdot A^2}{V_0} \left(1 - \frac{Ax}{V_0}\right)^{-(f+1)}$$

Тъй като преместването  $x$  е много малко, то с достатъчна точност може да се приеме, че еластичността (коравината)  $C$  на въздушната пружина зависи линейно от преместването  $x$ .

Това равенство показва, че еластичността на въздушната пружина зависи нелинейно от преместването. Ще се разгледат два случая: линеен и нелинеен случай на трептене.

#### 4.1. Линейни трептения на междинната втулка

С достатъчна за практиката точност уравнение (4) може да се запише като:

$$(5) C \approx \frac{f \cdot p_0 \cdot A^2}{V_0} = \frac{f \cdot G_0 \cdot A}{V_0},$$

където:

$$(6) A \cdot p_0 = G_0$$

е налягането при равновесие на междинната втулка, а от своя страна е равно на нейното тегло и  $V_0$  е съответния обем в камерата. По този начин върху фланеца на главата на междинната втулка ще действа еластична сила от вида:

$$(7) F_x = -C \cdot x,$$

където  $C$  в първо приближение се задава с израза (5), а  $x$  е преместването на междинната втулка спрямо равновесното положение.

Силата  $F_x$  се дължи на съгъстения въздух, който навлиза във вихровата глава между челото на главата на фланеца на междинната втулка и горното чело на вихровата тръба, се образува въздушна възглавница в която налягането се променя с изтичането на въздуха. В същия момент възникват и трептенията на междинната втулка, които се предават на сглобяваното изделие. Тези трептения зависят силно от масата, геометричната форма на междинната втулка, ориентиращите и сглобявани детайли. Пренебрегвайки всички съпротивления, диференциалното уравнение на движение на междинната втулка (извършваща вертикално трансляционно движение) има вид:

$$(8) m \ddot{x} = -C \cdot x$$

или след привеждането му в хармоничен вид:

$$(9) \ddot{x} + k^2 \cdot x = 0$$

тогава:

$$(10) k = \sqrt{\frac{C}{m}} = \sqrt{\frac{f_0 \cdot G \cdot A}{m V_0}} = \sqrt{\frac{f_0 \cdot g \cdot A}{V_0}}$$

където  $k$  е собствената честота на трептене на междинната втулка, а  $m$  е масата на междинната втулка,  $g$  – земното ускорение.

Решението на това диференциално уравнение е:

$$x = C_1 \cos k \cdot t + C_2 \sin k \cdot t,$$

където  $C_1$  и  $C_2$  са интеграционни константи. При начални условия:  $t = 0$ ,  $x_0 = H$  и  $\dot{x} = 0$ , решението на хармоничното уравнение е:

$$C_1 = x_0 = H$$

$$C_2 = \frac{\dot{x}_0}{k} = 0$$

където  $H$  се определя от условието за теглото  $G$  на междинната втулка със силата  $F_x$ , която се поражда от налягането при условието за равновесие,

$$G = C \cdot \delta_{\text{CT}}$$

В това уравнение  $\delta_{\text{CT}} = H$  и е начално отклонение на междинната втулка. От това равновесно положение, като се замени стойността на  $C$  от (5) се получава:

$$G = \frac{f \cdot p_0 A^2}{V_0} \delta_{\text{CT}},$$

и отгук намираме

$$\delta_{\text{CT}} = H = \frac{G \cdot V_0}{f \cdot p_0 A^2},$$

където  $A$  е площта на междинната втулка на която действа съгъстеният въздух, а  $V_0$  е първоначалния обем.

Окончателно за закона на движение на междинната втулка се получава:

$$(11) x = H \cdot \cos \sqrt{\frac{f \cdot g \cdot A}{V_0}} t,$$

Това уравнение описва едно чисто хармонично трептение с амплитуда  $H$  и честота  $k$ . Това е височината  $H$  на която се издига главата на междинната втулка, когато флуидът е в равновесие. Тази височина  $H$  осигурява необходимата цилиндрична повърхнина, през която изтича флуидът. Честотата на трептенията за линейната постановка на задачата е величината  $k$ , определена от равенство (10).

При направените теоретични изчисления по формула (10) за случая на дозатора показан на фиг.1. се получават стойности за собствената честота за  $k=20,52 \text{ s}^{-1}$ . След извършване и обработване на експерименталните данни за движението на междинната втулка и извършване на хармоничен анализ е получено Фуриево развитие на закона за движение, като основният хармоник е със собствени честоти за  $k=18,0 \text{ s}^{-1}$  и  $k=19,0 \text{ s}^{-1}$  и т.н. за различните случаи. Разликата между изчислените и експерименталните данни е в порядък на 5-7%. Тази разлика е в допустими граници.

## 4.2. Нелинейни трептения на междинната втулка

По-интересно и по-точно е нелинейното решение на задачата. Ако развием коефициента на еластичност, като Нютонов бином, то уравнение (4) може да се запише като:

$$(12) C = \frac{f_0 p_0 A^2}{V_0} \left(1 - \frac{A \cdot x}{V_0}\right)^{-(f+1)} = \frac{f_0 p_0 A^2}{V_0} \left[1 + \frac{(f+1)A}{V_0} x + \frac{(f+1)(f+2)A^2}{1.2 \cdot V_0} x^2 + \dots\right]$$

Където развитието се ограничава до събираемото от втора степен на  $x$ . Тогава диференциалното уравнение на междинната втулка приема вид:

$$(13) m \ddot{x} = -\frac{f_0 p_0 A^2}{V_0} x - \frac{f(f+1) p_0 A^3}{V_0^2} x^2 - \frac{f(f+1)(f+2) p_0 A^4}{2 \cdot V_0^3} x^3 - \dots$$

след пренебрегване на по-високите степени на  $x$  уравнение (6) може да се запише като:

$$(14) \ddot{x} + k^2 \cdot x = -\alpha \cdot x^2 - \beta \cdot x^3$$

където:

$$(15) k = \sqrt{\frac{f \cdot g \cdot A}{V_0}}$$

$$(16) \alpha_0 = \frac{f(f+1)g \cdot A^2}{V_0^2}$$

$$(17) \beta_0 = \frac{f(f+1)(f+2)g \cdot A^3}{2 \cdot V_0^3}$$

Нека въведем като много малък параметър отношението  $\lambda = \frac{A^2}{B^2} \ll 1$ , където  $B$  е напречното сечение на вихровата тръба. Тогава диференциалното уравнение (14) ще има вид:

$$(18) \ddot{x} + k^2 \cdot x = \lambda(\alpha_0 \cdot x^2 + \beta_0 \cdot x^3)$$

За решаването на полученото уравнение (18) се прилага метода на Линстед- Ляпунов-Кирилов, описан в [1,5,6]. След съответните преобразувания за вертикалното преместване на междинната втулка се получава:

$$(19) p^2 = k^2 + \frac{3}{4} \lambda \cdot H^2 + \lambda^2 \left\{ \frac{3}{4} H^2 \left[ \frac{H \cdot \alpha_0}{6p^2} + \frac{\beta_0 H^2}{32p^2} + \frac{\alpha \cdot H^2}{6p^2} - \frac{3}{4} \beta_0 H \left( \frac{3\alpha_0 H^2}{6p^2} + \frac{2\beta_0 H^3}{32p_0} \right) \right] \right\}$$

Решението във второ приближение при отчитане на нелинейните членове се появяват хармоници от пети порядък включително коефициентите пред тях непрекъснато намаляват. Намерени са и корекционните членове при определянето на собствената честота.

## 5. Изводи

В настоящата работа е разгледано автоматично устройство за монтаж на дозатори за напитки, в основата на което е пневмовихрова монтажна глава.

Направените теоретични показват, че еластичната въздушна „пружина“ зависи нелинейно от преместването на междинната втулка. При линейна апроксимация на задачата, е изведен законът за движение на втулката (11),

Освен оригиналната конструкция, по време на разработването на пневмовихровата монтажна глава е изведено решение на задачата за вертикалните трептения на междинната втулка в нелинейна постановка. След развитие на израза на еластичността на въздушната „пружина“ в безкраен ред по степените на вертикалното преместване на междинната втулка и въвеждането на подходящ малък параметър се стигна до квазилинейно диференциално уравнение, описващо тези трептения.

Компановането на автоматично устройство за монтаж на дозатори за напитки може да се изгради за много кратко време и бързо да влезе в експлоатация поради факта, че всички основни елементи на главата са стандартизирани и унифицирани. Друг положителен факт е, че устройството е пренастроваемо и лесно може да се реализират множество от варианти на автоматизирани машини и линии

Така изложения пневмо-вихров метод и технология могат да се прилагат за автоматизация и монтаж и на други елементи и в други области на промишлеността.

## Литература

- [1] Клочков, Л. Изследване на възможностите за приложение на пневмовихровия метод за автоматизация на монтажа в дискретното производство. Дисертация, ТУ-София, 1999.
- [2] Клочков, Л. Приложение на вихровия метод при автоматизация на монтажа в дискретното производство. В: Комплексна автоматизация на дискретното производство, под ред на проф. Д. Чакърски, Изд. ТУ-София, 2010. Стр 279-302.
- [3] Волкевич, Л. Автоматизация производственных процессов. Машиностроение, Москва, 2005.
- [4] Клочков, Л. Изследване на основните конструктивни параметри на пневмовихрова монтажна глава. XIX конференция АДП-2010, юни 2010, Созопол, 347-356.
- [5] Buchvariv, S., L. Klochkov, T. Neshkov. Theoretical aspects of automated assembly of cylindrical and threaded joints using the pneumowhirl method. Part III. Vertical Oscillations of intermediate sleeve in the mounting head. В: Проблеми на техническата кибернетика и роботика. Изд. Марин Дринов, кн.59, София 2008, 114-122.
- [6] Shabana A. A. Theory of Vibration: An Introduction. Springer Science & Business Media, 2012.